Elektrostatyka

Prawo Coulomba	$F=\lvert q_1q_2\rvert/\left(4\pi\varepsilon_r\varepsilon_0r^2\right)=\lvert q_1q_2\rvert/\left(4\pi\varepsilon r^2\right)$
Natężenie pola	$\vec{E}=\vec{F}/q_0$
Wektor indukcji pola elektrycznego	$\vec{D}=\varepsilon_r\varepsilon_0\vec{E}=\varepsilon\vec{E}$
Moment siły działającej na dipol $\vec{p}=q\vec{d}$	$\vec{\tau}=\vec{p}\times\vec{E}$
Energia potencjalna dipola	$E_p=-\vec{p}\cdot\vec{E}$
Prawo Gaussa	$\varepsilon_r\varepsilon_0\oint\vec{E}\cdot d\vec{S}=Q_{wew}$
Związek pracy z energią potencjalną	$\Delta E_p=E_p^{końcowa}-E_p^{początkowa}=$ $=-W$
Energia potencjalna	$E_p(r)=-W_{\infty\to r}$
Różnica potencjału	$\Delta V=V_{końcowy}-V_{początkowy}=-W/q$
Potencjał w punkcie	$V_p(r)=-W_{\infty\to r}/q=E_p/q$
Związek energii z potencjałem	$\vec{E}=-\mathrm{grad}\ V$
Pojemność elektryczna	$C=Q/U$
Pojemność płaskiego kondensatora	$C=\varepsilon_r\varepsilon_0S/d=\varepsilon S/d$
Energia potencjalna kondensatora płaskiego	$E_p=CU^2/2$
Gęstość energii pola elektrostatycznego	$u_E=D\cdot E/2=\varepsilon_r\varepsilon_0E^2/2$
Pojemność układu kondensatorów połączonych równoległe	$C=\sum C_i$

Stały prąd elektryczny

Natężenie prądu	$I=dq/dt$
Wektor gęstości prądu	$\vec{j}=ne\vec{v}_d$
Prawo Ohma	$R=U/I$
Różniczkowe prawo Ohma	$\vec{j}=\sigma\vec{E}$
Opór prostoliniowego przewodnika	$R=\rho L/S=L/(\sigma S)$
Zależność oporu właściwego od temperatury	$\rho(T)=\rho_0\left[1+\alpha(T-T_0)\right]$
Moc elektryczna	$P=U\cdot I$
Praca prądu/ciepło wydzielane	$W=Q=P\cdot t$

Siła elektromotoryczna	$\mathcal{E}_{SEM}=dW/dq$
Prawo Ohma dla obwodu zamkniętego	$I=\mathcal{E}_{SEM}/(R+r)$
Opór układu oporników połączonych szeregowo	$R=\sum R_i$
Ładowanie kondensatora	$q(t)=C\mathcal{E}_{SEM}\left[1-\exp\left(\frac{-t}{RC}\right)\right]$
Rozładowywanie kondensatora	$q(t)=q_0\exp\left(\frac{-t}{RC}\right)$

Magnetostatyka

Siła Lorentza	$\vec{F}_L=q\vec{V}\times\vec{B}$
Siła Lorentza	$\vec{F}_L=I\cdot\vec{L}\times\vec{B}$
Magnetyczny moment dipolowy	$\vec{\mu}=I\cdot\vec{S}$
Moment siły działającej na dipol	$\vec{\tau}=\vec{\mu}\times\vec{B}$
Energia potencjalna dipola magnetycznego	$E_p=-\vec{\mu}\cdot\vec{B}$
Związek pracy z energią potencjalną	$\Delta E_p=E_p^{końcowa}-E_p^{początkowa}=$ $=-W$

Źródła pola magnetycznego

Prawo Biota-Savarta	$d\vec{B}=\frac{\mu_0\mu_r}{4\pi}\frac{Id\vec{s}\times\vec{r}}{r^3}=\frac{\mu}{4\pi}\frac{Id\vec{s}\times\vec{r}}{r^3}$
Wektor natężenia pola magnetycznego	$\vec{B}=\mu_r\mu_0\vec{H}$
Pole magnetycznego prostoliniowego przewodnika	$B=\frac{\mu_0\mu_rI}{2\pi R}$
Pole magnetycznego przewodnika w kształcie łuku okręgu	$B=\frac{\mu_0\mu_rI\phi}{4\pi R}$
Prawo Ampere'a	$\oint\vec{B}\cdot d\vec{s}=\mu_0\mu_rI_p$
Pole solenoidu	$B=n\mu_0\mu_rI=\mu_0\mu_rIN/L=\mu IN/L$
Pole toroidu	$B=\mu_0\mu_rIN/(2\pi r)=\mu IN/(2\pi r)$

Indukcja elektromagnetyczna, magnetyzm materii

Strumień magnetyczny	$\Phi_{\text{mag.}} = \oint \vec{B} \cdot \mathrm{d}\vec{S}$
Prawo Faradaya	$\varepsilon_{\text{SEM}} = -\mathrm{d}\Phi_{\text{mag.}} / \mathrm{d}t = \oint \vec{E} \cdot \mathrm{d}\vec{l}$
Indukcyjność cewki	$L = N\Phi_{\text{mag.}} / I$
SEM samoindukcji	$\varepsilon_{\text{SEM}} = -L\,\mathrm{d}I/\mathrm{d}t$
Indukcyjność wzajemna	$\varepsilon_{\text{SEM}}^{(1)} = -M\,\mathrm{d}I_2/\mathrm{d}t$ $\varepsilon_{\text{SEM}}^{(2)} = -M\,\mathrm{d}I_1/\mathrm{d}t$
Szeregowy obwód RL – włączanie prądu	$I(t) = \frac{\varepsilon_{\text{SEM}}}{R}\left[1 - \exp\left(\frac{-t \cdot R}{L}\right)\right]$
Szeregowy obwód RL – wyłączanie prądu	$I(t) = I_0 \cdot \exp\left(\frac{-t \cdot R}{L}\right)$
Energia pola magnetycznego cewki	$E_{\text{mag.}} = LI^2 / 2$
Gęstość energii pola magnetycznego	$u_{\text{mag.}} = B \cdot H / 2 = \mu_{\text{r}}\mu_0 H^2 / 2$
Uogólnione prawo Ampere'a-Maxwella	$\oint \vec{B} \cdot \mathrm{d}\vec{s} = \mu_0\mu_{\text{r}}\varepsilon_0\varepsilon_{\text{r}}\,\mathrm{d}\Phi_{\text{elektr.}}/\mathrm{d}t +$ $+\mu_0\mu_{\text{r}} I_{\text{p}} = \mu\varepsilon\,\mathrm{d}\Phi_{\text{elektr.}}/\mathrm{d}t + \mu I_{\text{p}}$

Fale elektromagnetyczne

Pole fali	$E(x,t) = E_{\max} \cdot \sin(kx - \omega t)$, $B(x,t) = B_{\max} \cdot \sin(kx - \omega t)$
Prędkość	$c = E_{\max} / B_{\max} = 1/\sqrt{\mu_0\mu_{\text{r}}\varepsilon_0\varepsilon_{\text{r}}} = c_0 / n$, $c_0 = 1/\sqrt{\mu_0\varepsilon_0}$, $n = \sqrt{\mu_{\text{r}}\varepsilon_{\text{r}}}$
Wektor Poyntinga	$\vec{S} = \vec{E} \times \vec{H} = \left(\vec{E} \times \vec{B}\right) / \left(\mu_0\mu_{\text{r}}\right)$
Natężenie średnie fali	$I = \left\langle \vec{S} \right\rangle = \varepsilon_0\varepsilon_{\text{r}} c \left(E_{\max}\right)^2 / 2$
Natężenie w odległości *r* od źródła fali	$I(r) = P_{\text{źródła}} / \left(4\pi r^2\right)$
Ciśnienie fali – pełna absorpcja	$p = I / c$
Ciśnienie fali – pełne odbicie	$p = 2I / c$
Natężenie światła spolaryzowanego	$I_{\text{spol.}} = I_{\text{niespol.}} / 2$
Prawo Malusa	$I_{\text{spol.}} = I^{(0)}_{\text{spol.}} \cos^2 \Theta$
Prawe załamania	$n_1 \sin\Theta_1 = n_2 \sin\Theta_2$

Drgania elektromagnetyczne i prąd zmienny

Obwód LC	$q(t) = q_{\max} \cdot \cos\left\{\left[t / \left(\sqrt{LC}\right)\right] + \varphi\right\}$
Obwód RLC	$q(t) = q_{\max} \cdot \exp\left(\frac{-Rt}{2L}\right)\cos(\Omega t + \varphi)$; $\Omega^2 = (1/LC)^2 - \left[R/(2L)\right]^2$
Obwód RLC: wymuszone drgania elektryczne	$\varepsilon(t) = \varepsilon_{\max} \cdot \sin\left(\omega_{\text{wym.}} \cdot t\right)$, $\varepsilon_{\text{sk.}} = \varepsilon_{\max} / \sqrt{2}$, $I(t) = I_{\max} \cdot \sin\left(\omega_{\text{wym.}} \cdot t - \varphi\right), \mathrm{tg}\varphi = \frac{R_{\text{L}} - R_{\text{C}}}{R}$, $I_{\max} = \varepsilon_{\max} / Z = \varepsilon_{\max} / \sqrt{\left[R^2 + (R_{\text{L}} - R_{\text{C}})^2\right]}$, $R_{\text{L}} = \omega_{\text{wym.}} \cdot L$, $R_{\text{C}} = 1/\left(\omega_{\text{wym.}} \cdot C\right), I_{\text{sk.}} = I_{\max} / \sqrt{2}$, $P = I_{\text{sk.}}\varepsilon_{\text{sk.}} \cos\varphi.$
Transformatory	$U_{\text{w}} = U_{\text{p}} N_{\text{w}} / N_{\text{p}}; I_{\text{w}} = I_{\text{p}} N_{\text{p}} / N_{\text{w}}$

Zwierciadła i soczewki. Interferencja. Dyfrakcja

Zwierciadła sferyczne	$\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{1}{f} = \frac{2}{r}$
Cienkie soczewki	$\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{1}{f} = \left(\frac{n_{\text{soczewki}}}{n_{\text{otoczenia}}} - 1\right)\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right)$
Długość fali w ośrodku	$\lambda = \lambda_0 / n$
Doświadczenie Younga – interferencja konstruktywna	$d \cdot \sin\Theta = m \cdot \lambda; m = 0, \pm1, \pm2, \ldots.$
Interferencja konstruktywna w cienkich warstwach	$2d = (2m+1)\frac{\lambda}{2n}; m = 0, \pm1, \pm2, \ldots.$
Dyfrakcja na pojedynczej szczelinie - minima	$a \cdot \sin\Theta = m \cdot \lambda; m = \pm1, \pm2, \ldots.$

Dyfrakcja na okrągłej szczelinie - minima	$\sin\Theta = 1{,}22(\lambda/d)$
Dyfrakcja na siatce dyfrakcyjnej - maksima	$d\cdot\sin\Theta = m\cdot\lambda;$ $m = 0, \pm1, \pm2, \ldots.$
Dyfrakcja na siatce krystalograficznej – maksima, warunek Bragga	$d\cdot\cos(90^{\circ}-\Theta) = m\cdot\lambda,$ $m = 1, 2, \ldots.$
Kryterium Rayleigha	$\Theta_R = 1{,}22(\lambda/d)$

Szczególna teoria względności

Transfor -macje Lorentza	$x' = \gamma(x - Vt), \gamma = 1/\sqrt{1-\beta^2},$ $y' = y, z' = z, t' = \gamma(t - Vx/c^2)$
Dylatacja czasu	$\Delta t\cdot\sqrt{1-\beta^2} = \Delta t_0, \beta = V/c$
Skrócenie długości	$L_0\cdot\sqrt{1-\beta^2} = L$
Transformacja prędkości	$V_x = \dfrac{V'_x + V}{1 + V'_x V/c^2}$
Relatywistyczny efekt Dopplera – źródło oddala się	$f = f_0\sqrt{\dfrac{1-\beta}{1+\beta}}$
Pęd relatywistyczny	$\vec{p} = \gamma m_0 \vec{v}$
Całkowita energia relatywistyczna	$E^{\text{calk.}}_{\text{rel.}} = \gamma m_0^2 c^2$
Relatywi styczna energia i pęd	$\left(E^{\text{calk.}}_{\text{rel.}}\right)^2 = (pc)^2 + \left(m_0c^2\right)^2,$ $(pc)^2 = \left(E^{\text{kinetyczna}}_{\text{rel.}}\right)^2 + 2E^{\text{kinetyczna}}_{\text{rel.}} m_0 c^2$
Relatywistycz na energia kinetyczna	$E^{\text{kinetyczna}}_{\text{rel.}} = (\gamma - 1) m_0^2 c^2 =$ $= E^{\text{calk.}}_{\text{rel.}} - m_0^2 c^2$

Fotony i fale materii

Promień n-tej orbity modelu Bohra atomu wodoru	$r_n = n^2\left(\dfrac{\varepsilon_0 h^2}{\pi m_e e^2}\right) = n^2\cdot 5{,}3\cdot10^{-11}\,\text{m}$
Prędkość elektronu na n-tej orbicie modelu Bohra atomu wodoru	$v_n = \dfrac{e^2}{2h\varepsilon_0 n} = \dfrac{2{,}19\cdot10^6}{n}\,\text{m/s}$
Poziomy energetyczne elektronu w atomie wodoru	$E_n = -\left(\dfrac{m_e e^4}{8h^2\varepsilon_0^2 n^2}\right) = -\dfrac{E_1}{n^2} =$ $= -\dfrac{13{,}6\text{eV}}{n^2}, n = 1, 2, 3, \ldots$
Kwant energii (foton) ħ	$E = h\upsilon$
Pęd fotonu	$p = E/c = h\upsilon/c = h/\lambda$
Równanie Einsteina fotoefektu	$h\upsilon = E^{\text{kin}}_{\text{e}} + W$
Przesunięcie Comptona	$\Delta\lambda = \dfrac{h}{mc}(1 - \cos\phi)$
Minimalna energii kreacji cząstka-antycząstka	$E_{\min} = 2m_0c^2$
Hipoteza de Broglie'a	$\lambda = h/p$
Równanie Schrödingera	$-\dfrac{\hbar^2}{2\text{m}}\dfrac{\text{d}^2\psi(x)}{\text{dx}^2} + U(x)\psi(x) = E\psi(x)$
Funkcja falowa stanu stacjonarnego	$\Psi(x) = \psi(x)\exp(-iEt/\hbar)$
Zasada nieoznaczoności dla pojedynczego pomiaru	$\Delta p_x \Delta x \geq \hbar;$ $\Delta p_y \Delta y \geq \hbar;$ $\Delta p_z \Delta z \geq \hbar$
Zasada nieoznaczoności dla serii pomiarów	$\sigma(p_x)\sigma(x) \geq \hbar/4;$ $\sigma(p_y)\sigma(y) \geq \hbar/4;$ $\sigma(p_y)\sigma(y) \geq \hbar/4$
Zasada nieoznaczoności dla pojedynczego pomiaru	$\Delta E \Delta t \geq \hbar$
Zasada nieoznaczoności dla serii pomiarów	$\sigma(E)\sigma(t) \geq \hbar/4$
Tunelowanie kwantowe	$T \approx \exp(-2kL),$ $k = \sqrt{\dfrac{2m(U_0 - E)}{\hbar^2}}$
Długości fal materii cząstki kwantowej w bardzo głębokiej studni potencjalnej	$\lambda_n = 2L/n;$ $n = 1, 2, 3, \ldots$
Energia cząstki kwantowej w bardzo głębokiej studni potencjalnej	$E_n = p_n^2/2m = (h/\lambda_n)^2/2m =$ $= \left(\dfrac{h^2}{8mL^2}\right)n^2 = E_1 n^2, n = 1, 2, 3, \ldots$
Funkcja falowa cząstki kwantowej w bardzo głębokiej studni potencjalnej	$\psi_n(x) = \sqrt{(2/L)}\sin\left(\dfrac{n\pi x}{L}\right)$

Poziomy energetyczne elektronu w atomie wodoru	$E_n = -\left(\frac{m_e e^4}{8h^2\varepsilon_0^2 n^2}\right) = -\frac{E_1}{n^2} = = -\frac{13,6\text{eV}}{n^2}, n = 1,2,3,\ldots$

Atomy wieloelektronowe

Kwantowanie orbitalnego moment pędu L_o elektronu	$L_{\text{orb}} = \sqrt{l(l+1)}\hbar,$ $l = 0,1,\ldots,n-1$
Kwantowanie przestrzenne orbi-talnego moment pędu L elektro -nu - rzut L na dowolną oś OZ	$L_{\text{orb}}^{\text{Z}} = m_{\text{Z}}\hbar,$ $m_{\text{Z}} = -l,-l+1,\ldots,l-1,l$
Orbitalny moment magnetyczny elektronu	$\vec{\mu}_{\text{orb.}} = -\frac{\text{e}}{2\text{m}_{\text{e}}}\cdot\vec{L}_{\text{orb.}}$
Kwantowanie orbitalnego momentu magnetycznego elektronu	$\mu_{\text{orb}}^{\text{Z}} = -\frac{\text{e}}{2\text{m}_{\text{e}}}\cdot L_{\text{orb}}^{\text{Z}} = -\frac{\text{e}\hbar}{2\text{m}_{\text{e}}} m_{\text{Z}} = -\mu_{\text{B}} m_{\text{Z}},$ $m_z = -l,-l+1,\ldots -1,0,1,\ldots,l-1,l$
Spin S elektronu	$S = \sqrt{s(s+1)}\hbar, s = 1/2$
Kwantowanie spinu S elektronu	$S_{\text{Z}} = m_{\text{S}}\hbar;\ \ m_{\text{S}} = \pm 1/2$
Spinowy moment magnetyczny elektronu	$\vec{\mu}_{\text{s}} = -\frac{\text{e}}{\text{m}_{\text{e}}}\cdot\vec{S}$
Kwantowanie spinowego momentu magnetycznego elektronu	$\mu_{\text{S}}^{\text{Z}} = -\frac{\text{e}}{\text{m}_{\text{e}}}\cdot S_{\text{Z}} = -2m_{\text{S}}\mu_{\text{B}}$
Granica krótkofalowa promieniowania X	$\lambda_{\text{min}} = hc/E_{\text{e}}$
Prawo Moseleya	$f = \left(2,48\cdot 10^{15}\,\text{Hz}\right)\left(Z-1\right)^2$

Fizyka jądrowa i energia jądrowa

Promień jądra	$r = r_0 A^{1/3}, r_0 = 1,2\ \text{fm}$
Spin S protonu/neutronu	$S = \sqrt{s(s+1)}\hbar, s = 1/2$
Kwantowanie spinu S protonu/neutronu	$S_{\text{Z}} = m_{\text{S}}\hbar;\ \ m_{\text{S}} = \pm 1/2$
Jądrowy magneton	$\mu_{\text{J}} = \frac{\text{e}}{2\text{m}_{\text{proton}}}$
Kwantowanie momentu magnetycznego protonu	$\mu_{\text{p}}^{\text{Z}} = \pm 2,7928\mu_{\text{J}}$
Kwantowanie momentu magnetycznego neutronu	$\mu_{\text{n}}^{\text{Z}} = \pm 1,9130\mu_{\text{J}}$
Prawo rozpadu promieniotwórczego	$N(t) = N_0 \exp(-\lambda t)$
Aktywność promieniotwórcza	$R(t) = \lambda N(t)$
Energia wiązania jądra atomowego	$E_{\text{B}} = \left(Z\cdot M_{\text{H}} + N\cdot M_{\text{H}} - {}_{Z}^{A}M\right)c^2$
Warunek kontrolowanej fuzji izotopów wodoru	$n\tau > 10^{20}\,\text{s/m}^3$
Energia wiązania jednego nukleon	E_{B}/A
Defekt masy reakcji jądrowej	$\Delta M = M_{\text{początkowa}} - M_{\text{koncowa}}$
Energia reakcji jądrowej	$Q = (\Delta M)c^2$

Rozszerzający się Wszechświat

Prawo Hubble'a	$v = H_0 r; H_0 \approx\sim 2,3\cdot 10^{-18}\,\text{s}^{-1}$

Włodzimierz Salejda

Wrocław, 24 V 2010